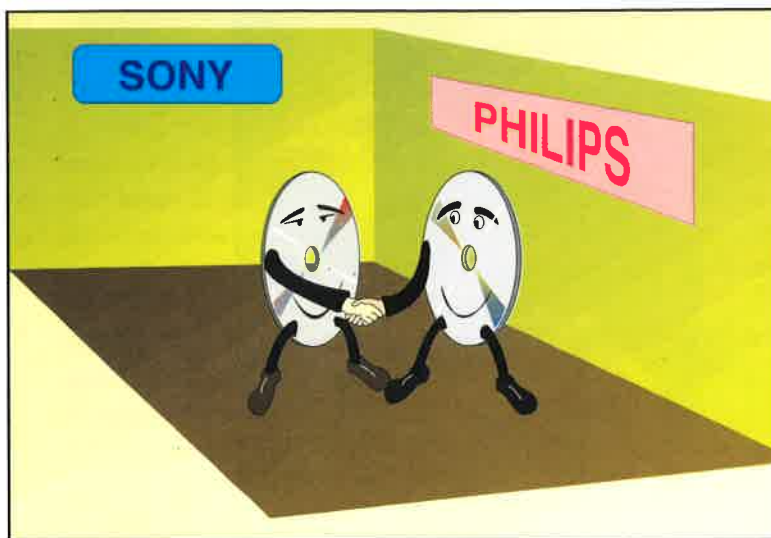
SPEDIZIONE IN ABB. POST.
GRUPPO II/70
ELETTRONICA E PC
L.9.900 Frs.17
38
HARDWARE E PERIFERICHE
Il CD-ROM
CORSO DI ELETTRONICA DIGITALE
Famiglie dei convertitori A/D
REALIZZAZIONI PRATICHE
Regolatore di potenza controllato da PC
FINLUX
JACKSON LIBRI

Il CD-ROM

Tra tutte le periferiche che possono essere collegate ad un personal computer si sta sempre più diffondendo un dispositivo in grado di immagazzinare grandi volumi di informazioni: il CD-ROM.

Prima di analizzare gli aspetti più tecnici dell'argomento, è importante conoscere le origini di questi dispositivi.
Frutto della collaborazione tra due grandi aziende del settore elettronico, la Sony Corporation e la N.V. Philips, nel 1976 è nata la tecnologia dei Compact Disc, che nel 1982 ha portato alla definizione di un insieme di specifiche indicanti le caratteristiche fondamentali dei Compact Disc audio.
Nel 1983 si inizia per la prima volta ad affrontare la possibilità di utilizzare la tecnologia CD-ROM come sistema di memorizzazione di massa per i dati.
Il sistema di cui si sta parlando è perciò un derivato della tecnologia dei Compact Disc audio.

Il disco di un CD-ROM viene fabbricato su di un substrato di policarbonato

Il Compact Disc audio è nato dalla collaborazione tra la Sony e la Philips; da questo è derivato il CD-ROM

Nel 1985 inizia la commercializzazione di questo prodotto, che attualmente è diventato uno dei sistemi più utilizzati, soprattutto in ambienti molto particolari come quelli multimediali.
Successivamente sono nate altre tecnologie derivate da quella originale che hanno permesso la costruzione dei *CD-I (Compact Disc Interattivi)* e dei più recenti *CD-R (Compact Disc Riscrivibili)*.

COS'È UN CD-ROM?

Letteralmente il CD-ROM è un disco compatto di memoria a sola lettura (dall'inglese *Compact Disc-Read Only Memory*). Ciò significa che è costituito da un disco compatto non riscrivibile, di aspetto uguale al Compact Disc audio, sul quale è possibile memorizzare una grande quantità di informazioni. Visto dall'elaboratore, questo dispositivo è considerato come una unità aggiuntiva che può essere controllata dalla macchina.

CARATTERISTICHE DI BASE

Il disco di un CD-ROM viene fabbricato su di un substrato di policarbonato, che gli conferisce una grande flessibilità e robustezza, sul quale vengono incisi una serie di piccoli fori ben definiti il cui significato sarà esaminato dettagliatamente nei paragrafi successivi. Il substrato viene poi ricoperto da una lamina riflettente in alluminio e immerso in un bagno di resina per proteggerlo con una pellicola antigraffio; al

Letteralmente un CD-ROM è un disco compatto di memoria a sola lettura (Compact Disc-Read Only Memory)

Un CD-ROM è simile ad un Compact Disc audio

termine vengono applicate le etichette del costruttore.
Le dimensioni fisiche di un disco sono le seguenti:
- *diametro complessivo = 120 millimetri,*
- *diametro del foro centrale = 15 millimetri,*
- *spessore = 1,2 millimetri.*

Sul disco viene incisa una pista a spirale, come nei dischi audio, che inizia dal centro dello stesso e termina sul suo bordo esterno. Questa pista ha una larghezza di circa 0,6 micron (0,0000006 metri), con una separazione tra le spire adiacenti di 1,6 micron (0,0000016).
Tutti questi dati servono per avere un'idea della densità del disco, che corrisponde a circa 6.300 piste per centimetro. Se si sviluppasse la pista spiralizzata lungo una linea retta, la sua lunghezza totale raggiungerebbe approssimativamente i 5 km.

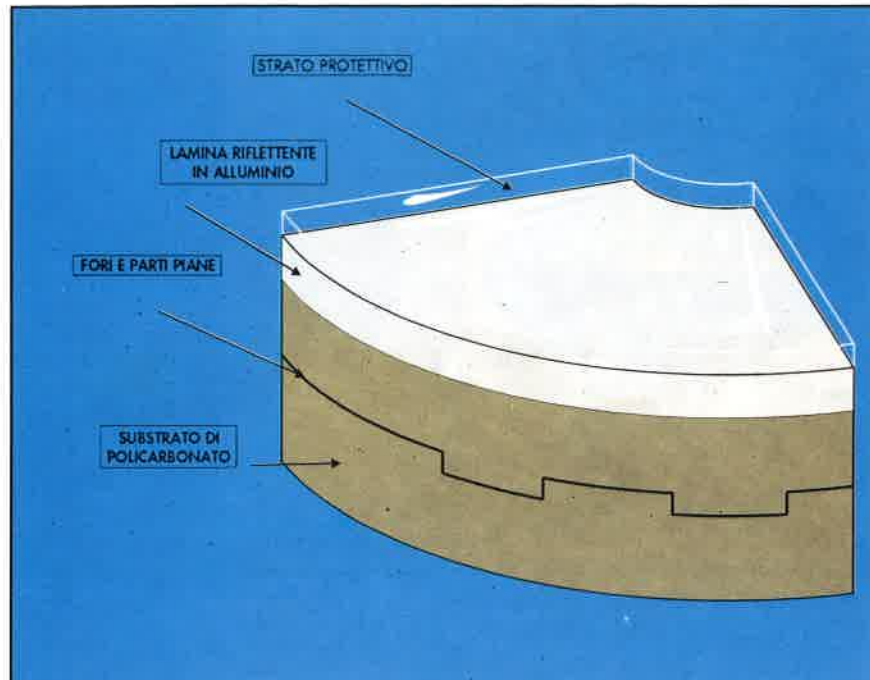
STRATO PROTETTIVO
LAMINA RIFLETTENTE IN ALLUMINIO
FORI E PARTI PIANE
SUBSTRATO DI POLICARBONATO

Sezione di un CD-ROM

ORGANIZZAZIONE DELL'INFORMAZIONE

I dischi magnetici sono suddivisi in piste concentriche e settori. Fornendo l'indirizzo di una pista e di un settore, la testina di lettura/scrittura si dirige molto velocemente nella posizione indicata, conferendo al sistema tempi di acceso piuttosto bassi.
Il CD-ROM è formato da una pista spiralizzata che ricopre tutto il disco, e la sua struttura è suddivisa in settori lineari continui della stessa lunghezza; di conseguenza, i tempi di accesso si allungano in modo considerevole rispetto a un disco magnetico, in quanto la ricerca del dato deve essere effettuata lungo tutta la spirale.

Il CD-ROM è dotato di una pista a spirale che percorre tutto il disco, la cui struttura è suddivisa in settori lineari consecutivi della stessa lunghezza

A questo punto ci si domanda dove vengono memorizzati i dati. I dati vengono memorizzati sulla pista spiralizzata, che è dotata di diversi fori distribuiti lungo tutto il suo percorso; questi fori, chiamati anche lacune o "pit" dalla terminologia inglese, hanno una profondità di circa 0,12 micron e una larghezza di 0,6 micron. Tra i fori sono presenti delle zone piane chiamate altipiani o "land".
Come detto in precedenza, la pista spiralizzata sulla quale si trovano memorizzati i dati è suddivisa in settori della stessa lunghezza. Iniziando dall'interno del disco e procedendo verso l'esterno, i settori vengono numerati in modo sequenziale: settore 0, settore 1, settore 2, ecc.
Il settore di un CD-ROM è composto da 2.352 byte distribuiti nel seguente modo (si osservi anche la figura corrispondente): 12 byte per i dati di sincronizzazione, seguiti da una intestazione di 4 byte (3 byte di indirizzo e 1 byte di tipo). Successivamente si trovano 2.048 byte di dati che hanno subito una correzione di errore, e infine 288 byte destinati ai codici per la rilevazione degli errori EDC (Error Detection Code).
Nei CD-ROM i byte destinati alla rilevazione e alla correzione degli errori rivestono una notevole

Un settore di un CD-ROM è composto da 2.352 byte

Confronto tra un CD-ROM e un disco magnetico

agli stessi. Infatti, la possibilità di rilevazione di un errore è di circa 1 bit ogni 2.000 milioni di dischi CD-ROM.

Tipo 2: anche questi settori vengono destinati alla memorizzazione di 2.336 byte (2.048 + 288) di dati; in questo caso però, i dati non vengono sottoposti alla rilevazione e alla correzione di errore. Questi settori vengono impiegati per memorizzare informazioni nelle quali il verificarsi di errori non ricopre particolare rilevanza. Come detto in precedenza, per dati di tipo audio e video l'errore di 1 bit non risulta assolutamente significativo.

Bisogna ancora segnalare che la ISO (International Standard Organization), Organismo Internazionale per la Standardizzazione, ha pubblicato la normativa ISO 9660 che raccoglie le caratteristiche minime di immagazzinamento dati in un CD-ROM e stabilisce il livello di compatibilità tra i diversi dispositivi.

importanza, poiché la sicurezza dei dati memorizzati è un elemento fondamentale quando si lavora con un elaboratore.

In un Compact Disc audio o video, la presenza di un bit non corretto non viene rilevata durante la riproduzione (l'udito e la vista degli esseri umani sono molto tolleranti di fronte a errori di questa portata), per cui la sua presenza diventa praticamente insignificante ài fini pratici. In un CD-ROM sul quale vengono memorizzati dei dati non possono però essere ammessi errori. Per questo motivo vengono destinati questi 288 byte alla protezione dei dati.

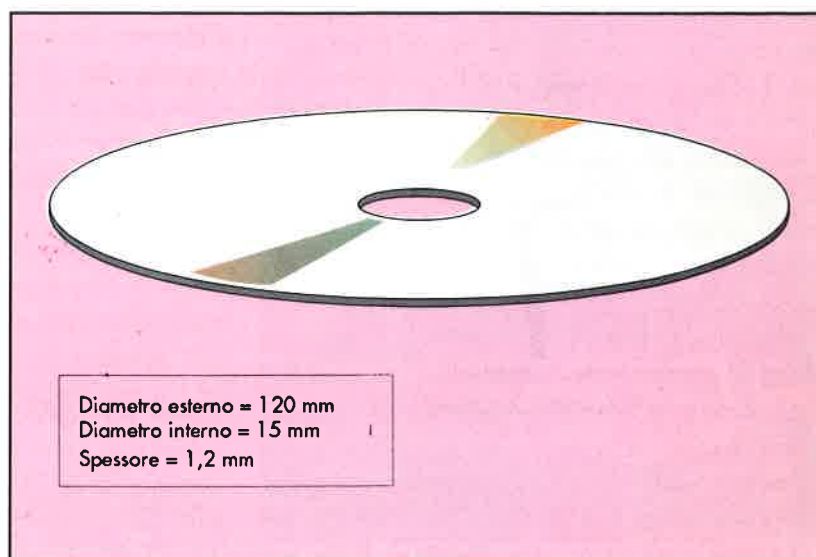
I settori di un CD-ROM standard possono essere suddivisi in tre gruppi distinti.

Tipo 0: in questi settori vengono memorizzati unicamente degli zeri. Le zone bianche dei disegni possono ad esempio corrispondere a questi settori.

La sicurezza dei dati memorizzati diventa un elemento fondamentale quando si opera con un elaboratore

Tipo 1: nei settori di questo gruppo vengono memorizzati i 2.048 byte di dati e i 288 byte destinati alla rilevazione e alla correzione degli errori. Questi settori sono destinati ai dati importanti, poiché viene garantito un alto livello di protezione

CAPACITÀ DI IMMAGAZZINAMENTO

I CD-ROM sono generalmente dotati di spirali

Dimensioni di un CD-ROM

In un disco CD-ROM si possono memorizzare circa 600 Mbyte di informazioni

I CD-ROM sono dotati di spirali suddivise in 270.000 settori con una durata di 60 minuti

suddivise in 270.000 settori con durata pari a 60 minuti, anche se possono arrivare a 333.000 settori per una durata di 74 minuti.

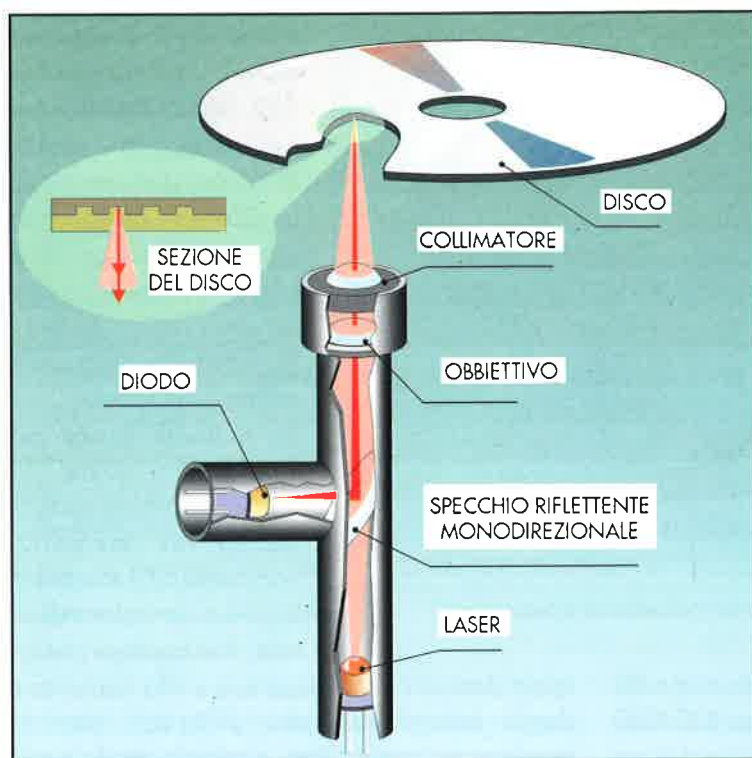
Questa differenza di 14 minuti è localizzata sul bordo esterno del disco, zona difficile da incidere e tenere pulita per cui abitualmente non utilizzata.

La capacità di un CD-ROM, per le ragioni appena descritte, può variare in funzione del numero di settori presenti sul disco e dell'impiego riservato agli spazi destinati per la rilevazione e la correzione degli errori. Ad esempio, un disco con 270.000 settori, e con 2.048 byte di dati corretti per settore, è in grado di immagazzinare un totale di 552.960.000 byte.

Per indicare la capacità di immagazzinamento di un CD-ROM si arrotonda questo valore a 552 Mbyte, oppure lo si divide per 1.024 byte (1 Kbyte) ottenendo come risultato 540 Mbyte.

Se si divide invece per 1.048.576 byte (1 Mbyte), si ottiene una capacità di memorizzazione di 572 Mbyte sottoposti a correzione di errore. Può capitare che gli spazi destinati alla rilevazione e alla correzione degli errori vengano utilizzati per la memorizzazione dei dati; in questo caso la capacità di immagazzinamento può arrivare sino a 601 Mbyte.

Se si utilizzano tutti i 333.000 settori del disco, eseguendo una operazione analoga alla precedente si possono raggiungere capacità di 650 Mbyte con correzione di errore oppure 724 Mbyte se si sfruttano per la memorizzazione dei dati gli spazi riservati alla rilevazione e alla correzione degli errori.

Struttura dei dati memorizzati in un settore del CD-ROM

Schema della testina di lettura di un CD-ROM

distanza dal centro dello stesso. Un punto più lontano dal centro gira a una velocità superiore rispetto ad un altro più vicino.
Poiché in un CD-ROM le lunghezze dei settori sono uguali, per fare in modo che i bit passino sotto la testina di lettura alla stessa velocità è necessario che la velocità di rotazione del disco vari in funzione della distanza alla quale si trova la testina di lettura rispetto al centro. Più la testina è lontana dal centro, più lentamente deve girare il disco. Viceversa, tanto più ci si avvicina al centro del disco tanto più deve aumentare la velocità di rotazione.
Ma cosa potrebbe capitare se la velocità di rotazione venisse mantenuta costante? Accadrebbe che i settori (e pertanto i bit) presenti sul bordo più lontano dal centro del

LETTURA DEI DATI

In un CD-ROM il dispositivo di lettura è costituito principalmente da un laser a bassa potenza (all'arseniuro di gallio), che invia un raggio verso il disco per rilevare i fori o le parti piane presenti sulla sua superficie. La lettura dell'informazione avviene sul retro del disco, attraverso il substrato di policarbonato. La differenza sostanziale che esiste tra un foro e una parte piana è dovuta al fatto che quest'ultima riflette il fascio luminoso emesso dal laser, mentre il foro lo lascia passare.
Per mezzo di un sistema ottico la luce riflessa viene diretta verso un fotodiodo che capta le variazioni ricevute.
In considerazione delle attuali caratteristiche dei lettori CD-ROM, per poter rilevare correttamente i dati memorizzati è necessario che i bit passino sotto la testina di lettura a velocità costante. Ciò limita la velocità di trasferimento dei dati a 150 kbps, equivalente a una velocità di lettura di 75 settori al secondo. Ciò non comporta però che il disco giri a velocità costante. Il lettore è certamente già a conoscenza del fatto che la velocità angolare di un disco varia in funzione della

Per mezzo di un meccanismo ottico la luce riflessa viene diretta verso un fotodiodo che capta le variazioni ricevute

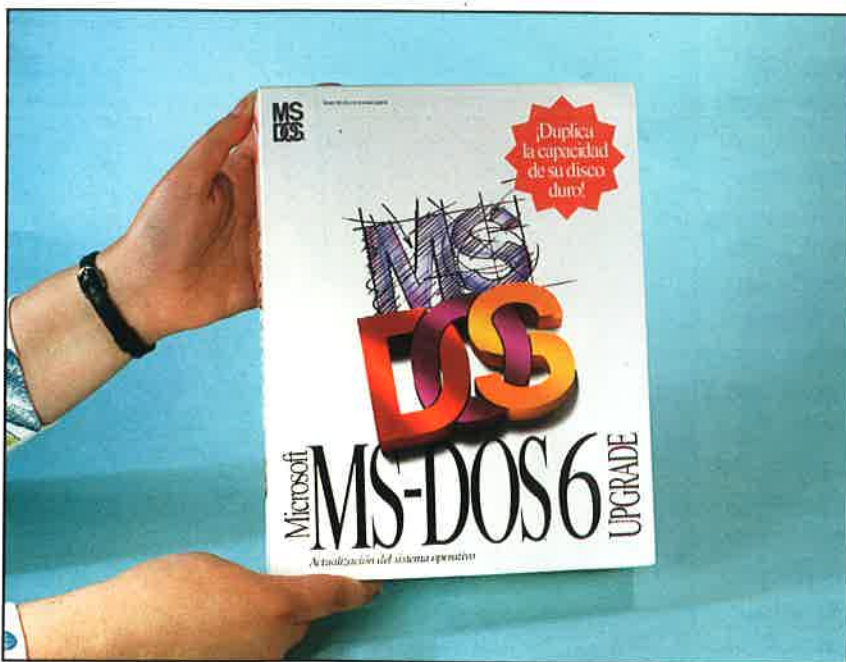
Il CD-ROM è collegato al PC come unità aggiuntiva

disco, la cui velocità angolare è superiore, passerebbero ad una velocità molto superiore rispetto a quelli più vicini al centro dello stesso; di conseguenza, si verificherebbero errori di lettura poiché i bit non verrebbero rilevati ad una velocità costante dalla testina di lettura.
Un'altra considerazione di importanza rilevante è dedicata al sistema di lettura: poiché per accedere all'informazione la testina di lettura si posiziona ad una certa distanza dal disco (a circa un millimetro), non esiste mai un momento in cui questi due elementi vengono fisicamente a contatto, per cui risulta praticamente impossibile la rottura della testina stessa.
Ciò conferisce al CD-ROM una straordinaria affidabilità e maneggevolezza.

CD-ROM installato in un PC

Confronto tra CD-ROM e disco magnetico

Ovviamente sono molte le caratteristiche che differenziano un CD-ROM da un disco magnetico convenzionale.
Senza dubbio una delle più rilevanti è costituita dalla capacità di immagazzinamento dei dati di questi supporti. Infatti, la capacità di un disco CD-ROM oscilla tra 500 e 600 Mbyte, in funzione dei diversi marchi commerciali del prodotto e delle modalità d'uso descritte in precedenza, mentre quella di un disco magnetico è di 1,44 Mbyte, anche se attualmente cominciano ad essere utilizzati i nuovi supporti magnetici da 2,88 Mbyte.
Ciò significa che se si vuole trasferire il contenuto di un CD-ROM su dischi magnetici sono necessari circa 400 dischi da 1,44 Mbyte oppure 200 da 2,88 Mbyte.
Se il confronto viene fatto con un hard disk (anche se in commercio esistono moltissimi tipi di dischi rigidi con capacità molto diverse), un CD-ROM di questa generazione equivale a circa 14 hard disk da 40 Mbyte (capacità minima di un disco rigido magnetico attuale).
Un'altra caratteristica sostanziale è rappresentata dal tempo di accesso. I CD-ROM attuali hanno un tempo di accesso pari a 400 milli-secondi, men-

Un CD-ROM attuale ha tempi di accesso di circa 400 millisecondi

Il sistema operativo MS-DOS versione 6.0 comprende il comando MSCDEX che consente di "vedere" il CD-ROM come un'altra unità sotto il suo controllo

Le unità multidisco (juke-boxe) possono ospitare diversi dischi

tre in un hard disk questo valore si riduce al di sotto dei 20 millise-condi.
Questo parametro diventa determinante quando si deve fare una scelta tra i due tipi di dispositivi.
Le cause che provocano questa enorme differenza tra i tempi di accesso dei CD-ROM e degli hard disk sono diverse: la modalità di accesso all'informazione lungo la pista spiralizzata esaminato in precedenza, la grandezza e il peso delle testine di lettura (il laser e la parte ottica di un CD-ROM sono grandi e pesanti), e soprattutto la velocità di rotazione variabile del CD-ROM (il cambiamento di velocità richiede tempi aggiuntivi).

Installazione di un CD-ROM

Attualmente sono disponibili in commercio tre tipi di unità CD-ROM che, in funzione delle necessità, possono essere adattati al calcolatore.
Unità interna: viene installata internamente al calcolatore e per l'utente diventa una comune unità di lettura a dischi interna.
Unità esterna: è una unità indipendente che viene collegata al calcolatore come una qualsiasi periferica esterna, ad esempio un'unità disco esterna da 5 1/4".
Unità multidisco (juke-boxe): è una unità che può ospitare più di un disco. Esistono in commercio diversi tipi di dispositivi di questo genere, da quelli che possono ospitare 6 dischi a quelli che ne possono ospitare più di 100.
Per installare una unità CD-ROM su di un computer, questo deve soddisfare alcuni requisiti minimi di configurazione.
Innanzi tutto è necessario un elaboratore con una memoria minima di 256 Kbyte, anche se si consigliano almeno 640 Kbyte. Inoltre, deve essere dotato di una versione del sistema operativo MS-DOS pari o superiore alla 3.1. Nella versione 6.0 di questo diffusissimo sistema operativo è stato incluso per la prima volta un programma chiamato MSCDEX (Microsoft CD-ROM Extension) che carica in memoria le routine necessarie per supportare le unità CD-ROM direttamente dal DOS. Con questo programma il DOS considera il CD-ROM come una nuova unità; l'unica differenza consiste nel fatto che è possibile eseguire solo operazioni di lettura e non di scrittura. Per lanciare il comando MSCDEX si deve definire, tramite il parametro /D (Driver), il nome del controller che consente l'accesso al CD-ROM. Questo controller viene fornito con il CD-ROM all'atto dell'acquisto.

Applicazioni del CD-ROM

Il basso costo ormai raggiunto dai CD-ROM ha reso questi elementi molto più accessibili al grande pubblico.
Poiché si tratta di dispositivi a sola lettura, sono diventati il mezzo più adeguato per la distribuzione su larga scala delle informazioni, e le applicazioni multimediali rappresentano uno dei maggiori campi di utilizzo.
Recentemente anche le aziende produttrici di videogiochi hanno iniziato ad utilizzare il CD-ROM per i loro prodotti. Le immense possibilità offerte da questa tecnica potrebbero infatti aprire una nuova era in questo campo, che così tanto affascina i giovani (e non solo).

L'unità CD-ROM è simile a quella di un disk-drive da 3 1/2"

Famiglie dei convertitori A/D

Come già commentato in precedenza esistono in commercio diversi tipi di convertitori analogico/digitali, e la scelta del modello dipende esclusivamente dal grado di precisione richiesto dal circuito in cui deve essere utilizzato.

Prima di esaminare i diversi tipi di convertitori A/D è opportuno ricordare le modalità di funzionamento e il loro compito all'interno di un circuito integrato.

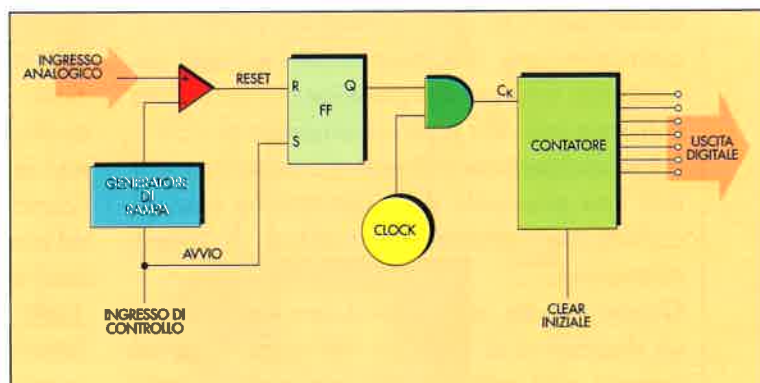
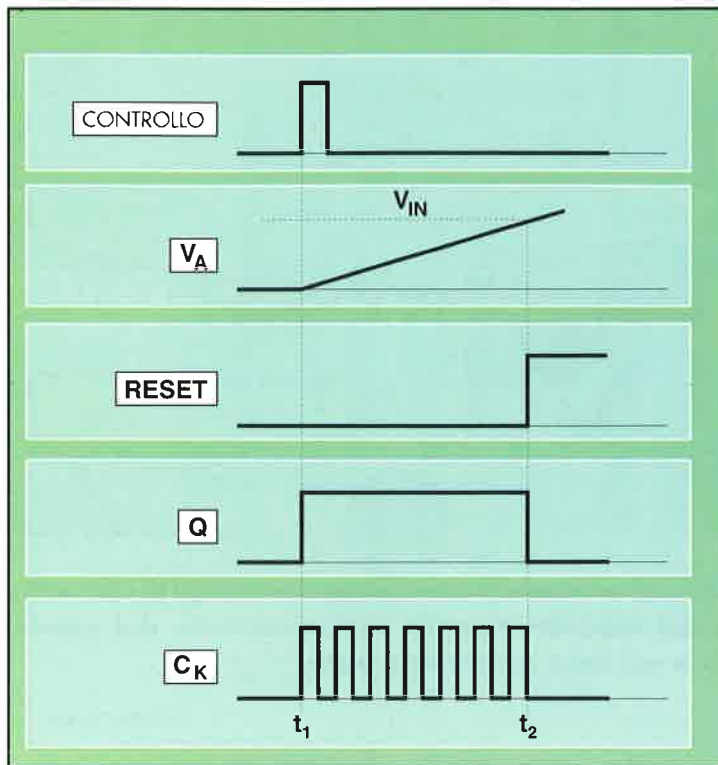
Le fasi principali di un convertitore A/D sono tre:

- *campionatura*
- *quantizzazione*
- *memorizzazione.*

La *campionatura* viene eseguita ad intervalli di tempo determinati per estrarre dei valori campione del segnale in esame. La frequenza di campionatura si determina tramite il teorema di Shannon, e deve corrispondere ad un valore almeno doppio della frequenza da ricostruire.

Questa funzione viene realizzata con dei circuiti di cattura e mantenimento che prelevano il valore del segnale analogico in un certo istante e lo mantengono fino al termine della sua conversione. La sincronizzazione delle operazioni eseguite da questi circuiti e dal convertitore A/D si ottiene grazie ad un segnale generato da quest'ultimo che indica il termine della conversione e la possibilità di effettuare una nuova acquisizione.

La fase di *quantizzazione* consiste nel raggruppare gli infiniti valori del segnale analogico in un certo numero di fasce delimitate da livelli fissi, a ciascuno dei quali corrisponde un valore digitale.

Convertitore A/D a larghezza d'impulso basato su di un circuito integratore

Forme d'onda più significative di un convertitore con integratore

Se il numero di livelli è piccolo, l'errore di quantizzazione può diventare apprezzabile; aumentando il numero di livelli l'errore tende a diminuire sino a scomparire. Diventa quindi fondamentale scegliere l'opportuna relazione tra il modo con cui vengono gestiti i dati e l'errore che si genera.

Il fatto che ad un maggior numero di livelli corrisponda un indice di errore più basso significa che anche la precisione diventa maggiore e ciò, direttamente o indirettamente, si ripercuote sul tempo di conversione, sulla capacità di memorizzazione e sui costi.

Nella fase di codifica vengono assegnati dei numeri binari ai livelli ottenuti nel processo di quantizzazione. Il numero di bit necessari per codificare una quantità generica *n* di livelli deve corrispondere alla potenza ennesima di 2: 2^n.

Infine, anche se non può essere considerata come una fase principale della conversione analogico/digitale, rimane l'operazione di *memorizzazione.*

Questa consiste nell'inviare il dato codificato ad un dispositivo di memoria nel quale sono già presenti altri valori campionati, che vengono debitamente compilati e ordinati.

Finora si sono prese in considerazione le fasi generiche di funzionamento di un convertitore A/D, ma come già detto in precedenza esistono molti dispositivi di questo tipo che si differenziano tra di loro proprio per il modo in cui svolgono le suddette funzioni.

Le ragioni che portano alla scelta di un tipo invece di un altro sono essenzialmente tre: *costi*, *tempo di risposta*, e *capacità di memorizzazione.*

Dal punto di vista economico è facilmente comprensibile che maggiore è il numero di componenti che formano il convertitore, più elevato risulta il costo dell'integrato.

In base a queste premesse, vengono di seguito esaminate alcune delle famiglie di convertitori A/D più comuni.

CONVERTITORI CON COMPARATORI IN PARALLELO

Questo tipo di convertitori è l'unico nel quale i processi di quantizzazione e decodifica sono chiaramente separati.

Il primo passo viene realizzato con dei comparatori, che discriminano tra un numero finito di livelli di tensione. Il segnale analogico da convertire è inviato all'ingresso non invertente di ciascun comparatore, mentre l'ingresso invertente è connesso ad una rete resistiva che ripartisce la tensione di riferimento comune in un numero di fasce pari al numero di livelli digitali che si vogliono ottenere.

Ogni comparatore commuta la sua uscita ad 1 quando il segnale supera la sua rispettiva tensione di riferimento.

Le uscite di tutti i comparatori vengono memorizzate in un latch, in sincronismo con un segnale di clock esterno; in questa fase vengono anche codificate per fornire alla fine un dato digitale stabile.

Questi dispositivi vengono considerati convertitori ad alta velocità, definiti anche *simultanei* o *flash*, poiché il processo di conversione avviene in modo diretto.

Tuttavia, la sua utilità risulta limitata ai casi di conversione in bassa risoluzione, poiché per ottenere *n* bit in uscita sono necessari 2^n - 1

convertitori; la realizzazione di dispositivi ad alta risoluzione richiede perciò una complessità circuitale tale da ripercuotersi in modo pesante sui costi e sulle prestazioni.

Il convertitore a doppia rampa è uno dei circuiti più utilizzati quando è richiesta una grande precisione di conversione

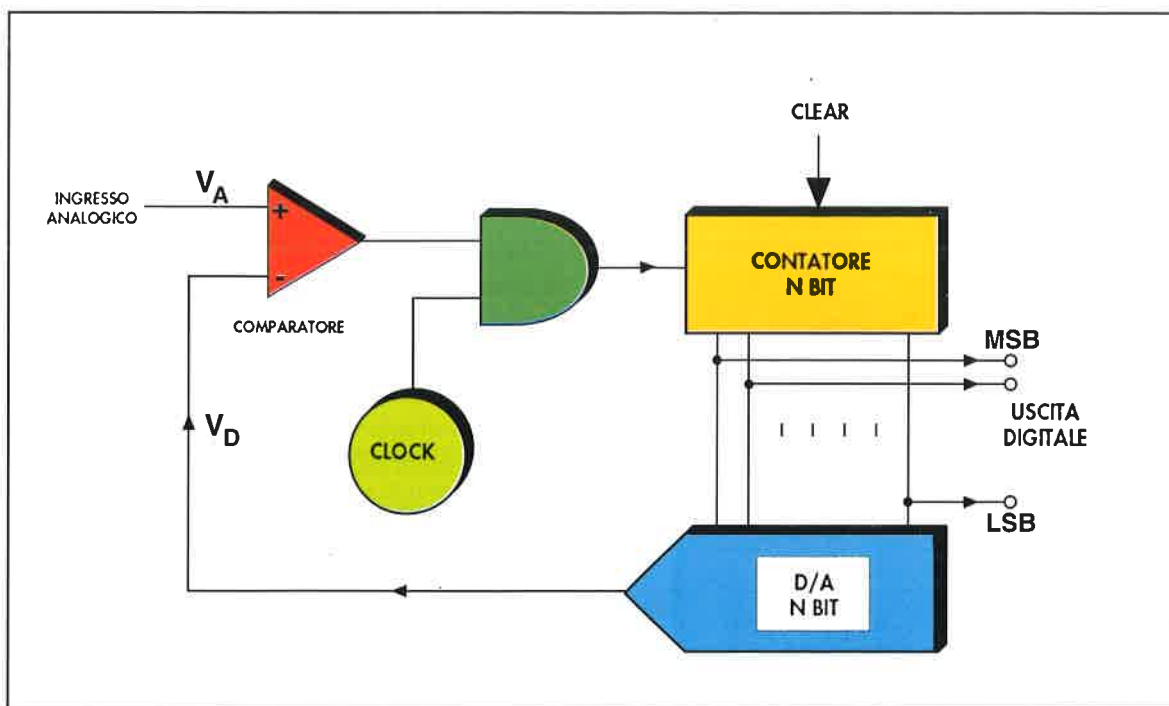
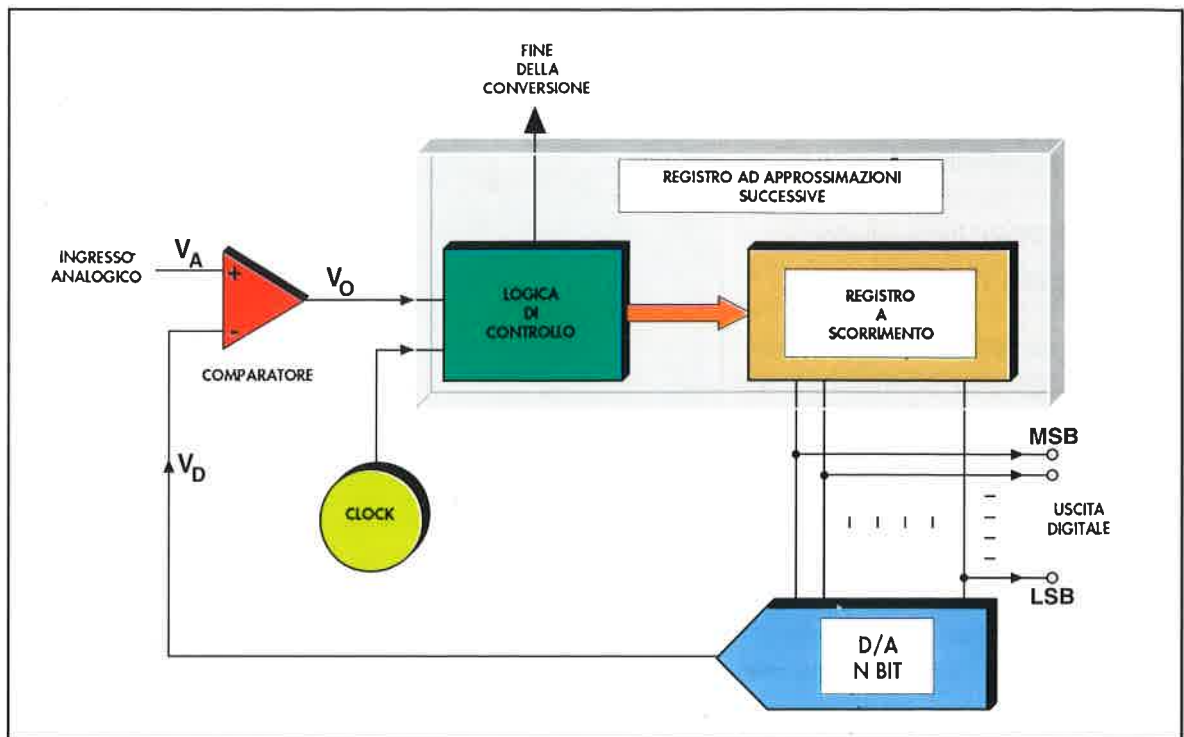
Convertitore a larghezza di impulso

Questo convertitore trasforma la tensione analogica in un intervallo di tempo che viene misurato tramite un clock e un contatore. Quando riceve sull'ingresso di controllo il comando di conversione, il circuito resetta il contatore, genera una rampa, e porta ad 1 l'uscita di un bistabile; ciò provoca l'inizio del conteggio degli impulsi di clock a frequenza fissa da parte del contatore stesso. Il livello del bistabile rimane ad 1 finché la rampa supera il valore dell'ingresso analogico; in quel momento l'uscita del bistabile ritorna a 0 e il contatore termina il conteggio degli impulsi di clock. Il numero di impulsi conteggiati è proporzionale al valore della tensione analogica di ingresso, ed è già fornito in forma digitale; questo tipo di convertitori viene anche definito *ad integrazione* oppure a conversione *tensione-tempo*.

Le sue limitazioni sono però diverse:
- il generatore di rampa non è perfettamente lineare, per cui la durata dell'impulso non è sempre esattamente la stessa;
- il tempo di conversione non è fisso poiché dipende dall'ingresso analogico.

Convertitore a doppia rampa

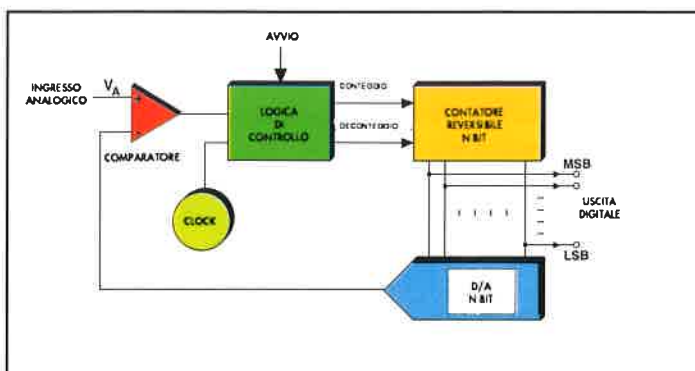
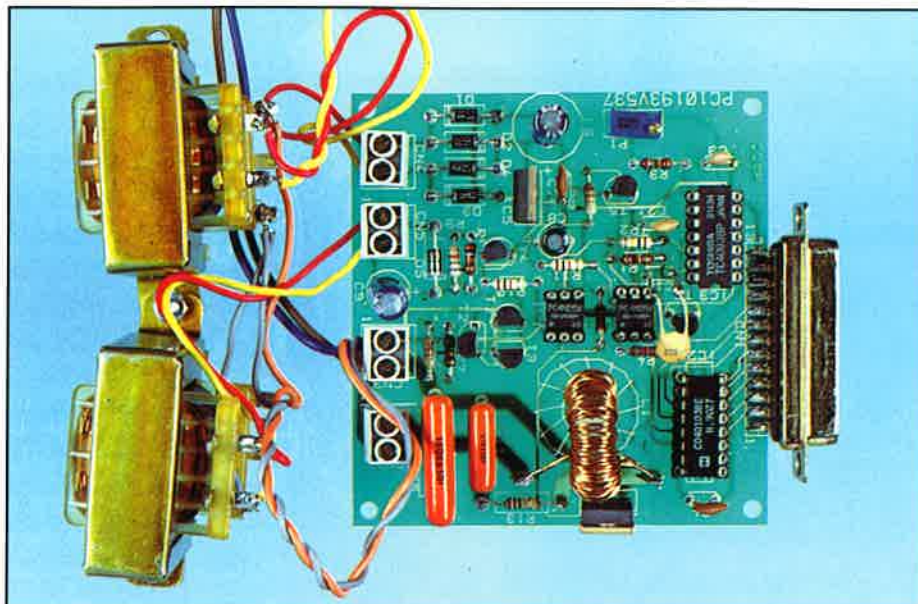
Alcune delle limitazioni del convertitore prece-

Tra i convertitori con contatori si deve segnalare questo modello a gradini

Quando è necessario utilizzare un convertitore ad alta velocità di conversione viene normalmente scelto il tipo chiamato ad approssimazioni successive

dente possono essere superate con questo dispositivo, che è uno dei più utilizzati nella pratica specialmente per quelle applicazioni in cui è richiesta una grande precisione.

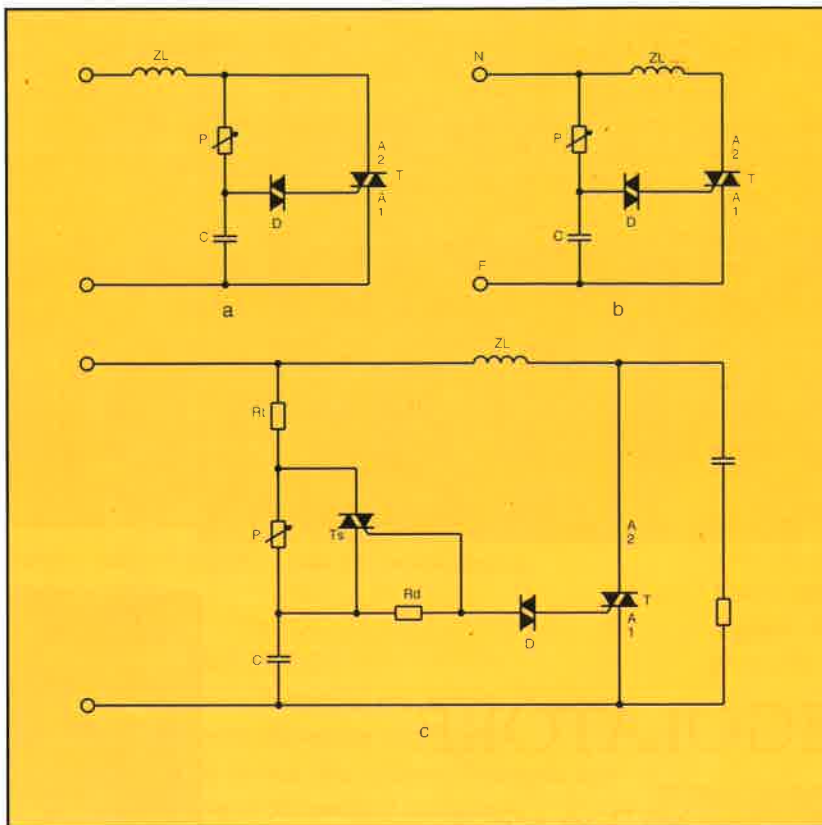
Il funzionamento di questo convertitore è sempre basato su di un integratore. Il processo di conversione inizia quando la tensione analogica di ingresso, ovviamente positiva, viene applicata all'ingresso dell'integratore, che fornisce in uscita una rampa negativa che mantiene a livello alto l'uscita del comparatore. Questa condizione abilita il conteggio degli impulsi di clock di periodo T_1 da parte del contatore binario ad *n* stadi; questo conteggio prosegue per un tempo $T_2 = 2^n T_1$, finché la commutazione a 0 di tutte le uscite del contatore provoca l'emissione da parte della logica di eccitazione del commutatore di un segnale che agisce sull'interruttore di ingresso dell'integratore. Su questo ingresso è ora presente una tensione di riferimento di polarità opposta a quella del segnale analogico, che a sua volta provoca la generazione di una rampa positiva che viene nuovamente conteggiata dal contatore binario, nel frattempo resettato; quando l'uscita dell'integratore raggiunge il valore 0 fa commutare il comparatore che disabilita il conteggio dei segnali di clock. Il numero di impulsi conteggiati in questa seconda fase è proporzionale al valore iniziale della tensione analogica applicata.

La caratteristica più importante di questo convertitore è la precisione, che dipende esclusivamente dalla linearità delle rampe e dalla costanza della tensione di riferimento.

Un altro tipo di circuito a contatori è quello chiamato a conteggio indefinito

REGOLATORE DI POTENZA CONTROLLATO DA PC

In quest'opera sono stati proposti molti dispositivi controllati dal PC attraverso la porta Centronics, ma finora nessuno di questi era in grado di permettere la regolazione della potenza fornita ad un utilizzatore, come può essere ad esempio un circuito per il controllo degli effetti luminosi.

Questo circuito consente, attraverso la porta Centronics del PC, di controllare su 255 livelli diversi la potenza erogata a dispositivi alimentati con tensione di rete (lampade, termostati, ventilatori, ecc.). La variazione della potenza si ottiene controllando la tensione presente sulla morsettiera di uscita CN2 alla quale viene collegato il carico (indicato con RL nello schema generale del circuito). In

In questa realizzazione viene utilizzato un regolatore di potenza convenzionale

Tre sistemi per controllare l'angolo di gate di un regolatore con triac

questa realizzazione viene utilizzato un regolatore di potenza tradizionale, composto da un triac e da un semplice circuito che controlla l'angolo di fase per il suo innesco.
Quasi tutti i circuiti di regolazione vengono progettati esclusivamente per il controllo di carichi resistivi (non reattivi), che non presentano differenze di fase tra la tensione e la corrente. Ciò significa che gli impulsi di innesco possono essere inviati per un tempo relativamente breve nel momento stesso in cui si è verificata la condizione di innesco, poiché la corrente che circola attraverso il carico è in fase con la tensione applicata allo stesso. Normalmente il valore della corrente di carico è maggiore di quello della corrente di mantenimento, per cui il triac si innesca immediatamente e si automantiene in conduzione.

CONTROLLO DELL'INNESCO

Quando il carico è di tipo induttivo (ad esempio un trasformatore o il reattore di una lampada al neon) la corrente è in ritardo rispetto alla tensione, e può non arrivare a raggiungere il livello di mantenimento. In queste condizioni il triac entra per un istante in conduzione, ma si interdice quando cessa il segnale di innesco. Questo effetto non desiderato può essere controllato entro certi limiti, allungando la durata dell'impulso di innesco tramite un treno di impulsi o una rete RC. La prima soluzione richiede l'impiego di un circuito di controllo con l'opportuno stadio di eccitazione. La durata dell'impulso richiede un controllo preciso per evitare che si generino degli inneschi non desiderati dopo che la tensione è passata per lo zero. I circuiti che soddisfano questi requisiti sono piuttosto complessi e costosi. Un metodo piuttosto semplice è quello di utilizzare una rete RC (nella figura corrispondente sono riportate tre configurazioni tipiche per il controllo di un triac), che in pratica provoca un aumento della corrente fino al livello di mantenimento permettendo al triac di rimanere in conduzione anche dopo che l'impulso di innesco è terminato. I costruttori di triac forniscono i dati necessari per progettare questa applicazione, ma resta comunque difficile dimensionare il circuito in modo da ottenere un innesco effettivo e ottimale, per cui è necessario nella maggior parte dei casi eseguire prove e regolazioni analizzando il segnale con un oscilloscopio.

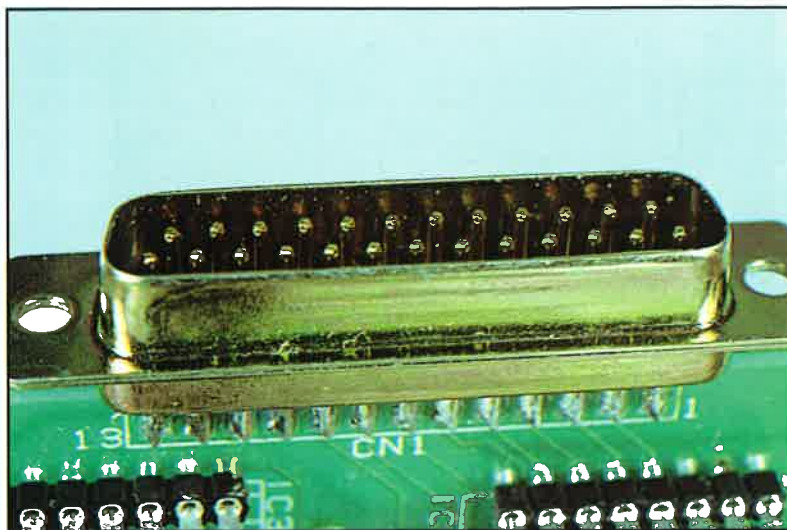
In un triac la corrente di carica è generalmente superiore a quella di mantenimento

La bobina utilizzata è di tipo toroidale

Schema generale del circuito regolatore

I circuiti che raffigurano i tre diversi metodi di controllo dell'angolo di fase sul carico ZL sono composti da un triac T, da un diac D, e da una rete RC; l'elemento resistivo P è collegato in parallelo tra il diac D e il terminale A2 del triac, mentre l'elemento reattivo C è collegato in parallelo tra il diac e il terminale A1 del triac. Nel circuito "a" l'innesco dipende dal carico; ciò significa che la sincronizzazione dipende dalla tensione presente ai capi del triac, che a sua volta dipende dalla corrente che attraversa il carico. Il circuito risulta pertanto inadeguato per la regolazione di carichi altamente induttivi che richiedono un piccolo angolo di conduzione, poiché presenta una forte tendenza ad un funzionamento di tipo asimmetrico che può risultare pericoloso per la saturazione dell'induttanza a causa della corrente continua relativamente alta.

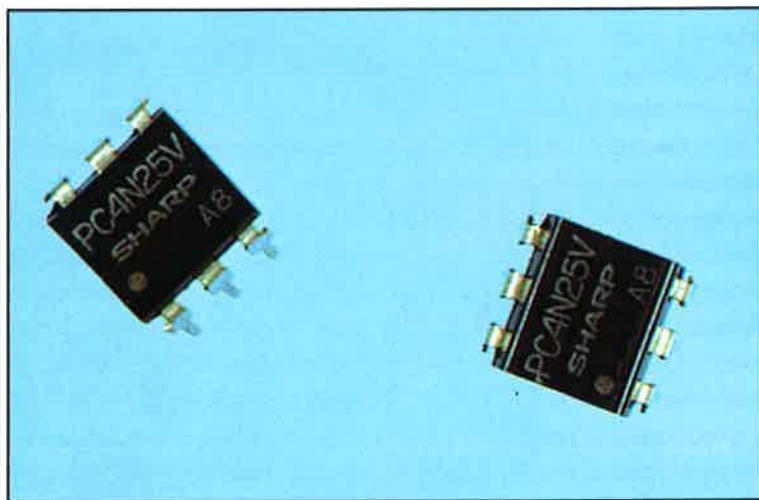
Lo schema indicato con "b" nella figura corrispondente rappresenta un circuito che provoca l'innesco di un triac tramite la tensione di rete. In questo circuito l'elemento resistivo P non viene collegato in parallelo tra il diac e il terminale A2 del triac, ma al polo neutro dell'alimentazione. Gli impulsi di innesco vengono generati con una differenza di fase fissa di 180 gradi, indipendentemente dalla corrente che circola attraverso il carico. Anche se questo circuito consente un controllo del carico più sicuro rispetto al precedente, il suo funzionamento può arrivare ad essere completamente asimmetrico se l'angolo della corrente di gate è più piccolo dell'angolo di ritardo della corrente

In questo circuito l'innesco dipende dal carico; ciò significa che la sincronizzazione dipende dalla tensione presente ai capi del triac, che a sua volta dipende dalla corrente del carico

Connettore DB25 maschio con terminali diritti

sul carico. Un ulteriore svantaggio di questo circuito è rappresentato dalla necessità di collegare direttamente l'elemento resistivo alla linea di alimentazione, come riportato nella figura corrispondente.
Nello schema indicato con "c" della stessa figura è riportato un circuito per il controllo di un triac leggermente più complesso nel quale, dopo l'impulso principale di innesco, vengono generati altri impulsi aggiuntivi fino al successivo passaggio per lo zero della tensione di alimentazione. Il funzionamento del circuito è illustrato dal diagramma dei tempi riportato nella figura corrispondente. Supponendo che la differenza di fase tra la tensione di alimentazione e la corrente che circola attraverso il carico sia di 85 gradi, e che l'angolo di gate sia di 60 gradi, il triac si innesca dopo che è trascorso il ritardo di innesco (A) e si mantiene in conduzione fino a circa 240 gradi (B) grazie al treno di impulsi. Il triac si blocca nel punto B, ma si reinnesca immediatamente con il successivo impulso di gate ripetitivo. Come si può osservare dalla curva tratteggiata in figura il funzionamento è leggermente asimmetrico durante i primi semiperiodi, anche se la durata della conduzione arriva ad essere gradualmente più equilibrata.

Il circuito proposto

Nel dispositivo presentato l'innesco di gate viene prodotto con un treno di impulsi, e vengono utilizzati solo alcuni componenti discreti ma sicuramente efficaci. Questo circuito, il cui schema è riportato nella figura corrispondente, può essere suddiviso in due parti: l'*alimentatore* e il *circuito di controllo*.
Il circuito formato dai transistor T1, T2, T3 e T4, unitamente al fotoaccoppiatore IC1, costituisce un rilevatore di passaggio per lo zero che genera un impulso di livello alto ogni volta che la tensione di rete passa per lo zero. Il compito del fotoaccoppiatore IC1 è quello di isolare il circuito dalla tensione di rete. Sul collettore del transistor di questo fotoaccoppiatore vengono prelevati gli impulsi a 100 Hz per il contatore.

Il circuito realizzato con i transistor da T1 a T4, unitamente al fotoaccoppiatore IC1, rappresenta un rivelatore di passaggio per lo zero

I fotoaccoppiatori isolano l'elaboratore dalle parti sottoposte a tensione di rete

Gli impulsi di passaggio per lo zero vengono invertiti con un trigger di Smitt, rappresentato da IC3A, che provoca il caricamento nel contatore binario up/down a 8 bit IC2 della parola da 8 bit applicata al suo ingresso di conteggio (da P0 a P7). Il contatore subisce un decremento ad ogni impulso di clock generato dall'oscillatore realizzato con la porta IC3C. Quando il conteggio raggiunge il valore zero l'uscita CO/ZD assume un valore logico basso che, attraverso la porta IC3B, inibisce l'arrivo di ulteriori impulsi di clock al contatore. Con-

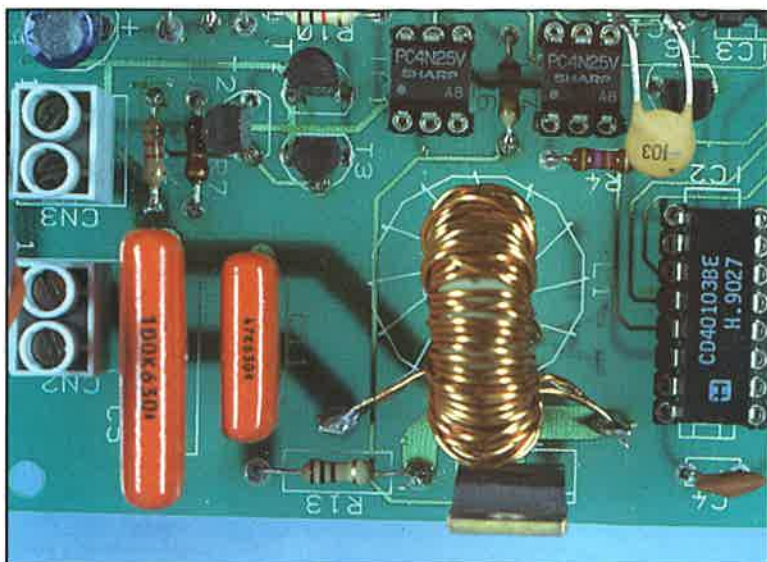
temporaneamente la porta IC3D genera un impulso di uscita che porta in saturazione il transistor T5, che a sua volta innesca il triac.
Poiché il triac si innesca solamente quando il contatore IC2 raggiunge il valore zero, l'istante in cui questo si verifica dipende dalla combinazione della parola di controllo a 8 bit inviata dall'elaboratore.
Di conseguenza, il tempo che trascorre tra il momento in cui la tensione passa per lo zero e l'istante in cui avviene l'innesco del triac dipende esclusivamente dal valore dato alla parola di controllo, se si escludono i tempi di ritardo intrinsechi dei componenti che comunque possono considerarsi trascurabili. Quanto più grande è la quantità codificata negli otto bit della parola di controllo, maggiore è l'angolo di fase e minore è la potenza erogata al carico.
La bobina L1 serve per la soppressione delle interferenze in radiofrequenza (RF) generate dal triac, e deve essere in grado di supportare una corrente di almeno 5 A. Il triac utilizzato per questo circuito può essere un TIC206D (4 A) o un TIC216D (5 A). Si possono però utilizzare anche degli equivalenti purché si inneschino con una corrente di gate inferiore ai 10 mA. Il valore della resistenza R12 può essere ricavato solo facendo delle prove, tenendo presente che dovrebbe essere molto elevato ma non al punto da provocare l'annullamento degli impulsi sui transistor o diminuire la loro ampiezza al di sotto dei 5 V di picco.

Innesco ottenuto tramite un treno di impulsi sincronizzati con la tensione di alimentazione

Schema di collegamento del circuito

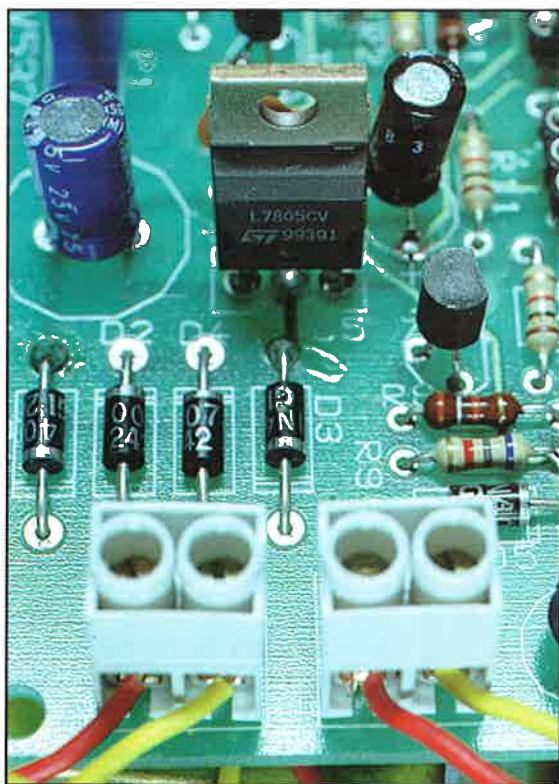
MONTAGGIO E MISURE DI SICUREZZA

Tutte le raccomandazioni fatte per i montaggi realizzati in precedenza sono valide anche per questo circuito. É comunque opportuno ricordare che il circuito stampato è a doppia faccia con fori non

Il triac si innesca solo quando il contatore IC2 raggiunge la condizione zero

Questa parte del circuito può essere considerata la zona ad alta tensione

metallizzati, per cui le saldature devono essere eseguite su entrambe le facce della scheda. La costruzione della bobina non presenta alcuna difficoltà, poiché è sufficiente utilizzare un nucleo toroidale di circa 20 mm di diametro esterno sul quale devono essere avvolte circa 100 spire di filo in rame smaltato di 0,5/0,6 mm di diametro.

Questo componente non è assolutamente critico, per cui la sua realizzazione non richiede particolari attenzioni.
Quando si collegano i trasformatori bisogna invece stare attenti a non invertire i contatti degli avvolgimenti primari con quelli dei secondari, poiché una situazione di questo genere causerebbe dei danni irreparabili.
Molte zone del circuito sono soggette alla tensione di rete, per cui è opportuno evitare di toccare la scheda o i componenti montati dopo aver fornito alimentazione. Inoltre, è consigliabile verificare che tra i componenti montati in questa zona particolarmente pericolosa del circuito esista un isolamento che garantisca una certa sicurezza di funzionamento.
Anche i terminali dei componenti già saldati devono essere rasati con cura per evitare che, dopo essere stati alimentati, possano provocare dei cortocircuiti accidentali o generare degli archi che causerebbero la distruzione del dispositivo e un certo rischio per l'operatore.
Per eseguire le prime verifiche si può utilizzare una lampada da 60 W, collegando i cavi che escono dal portalampade alla morsettiera CN2. Bisogna tener presente che il circuito non può funzionare correttamente con carichi inferiori ai 40 W e che la parola di controllo 00H ha lo stesso effetto della parola FFH che definisce la tensione minima applicata al carico. La regolazione diventa efficace ad iniziare dalla parola 01H.

Nella zona di alimentazione si evidenzia il regolatore di tensione 7805

La regolazione comincia ad avere una certa efficacia quando la parola di controllo corrisponde a 01H

REGOLAZIONE E CONTROLLO

L'unica regolazione richiesta da circuito è quella del potenziometro P1. Scollegando completamente il carico, bisogna agire su questo potenziometro finché un voltmetro impostato per la misura di tensioni alternate e collegato al posto del carico, non indica un valore di 0 V; la parola di controllo che bisogna inviare per poter eseguire questa regolazione deve avere il valore FFH (255D). Successivamente è opportuno verificare, sempre con il voltmetro collegato, che i valori di tensione superiori a 0 V corrispondano ai dati impostati tramite le parole di controllo inviate dall'elaboratore. Se così non fosse, bisogna agire sul potenziometro P1 per rendere i livelli di tensione

Normalmente il primo indirizzo è occupato da LPT1, il secondo da LPT2 e il terzo da LPT3

Il contatore programmabile è fondamentale per il funzionamento del circuito

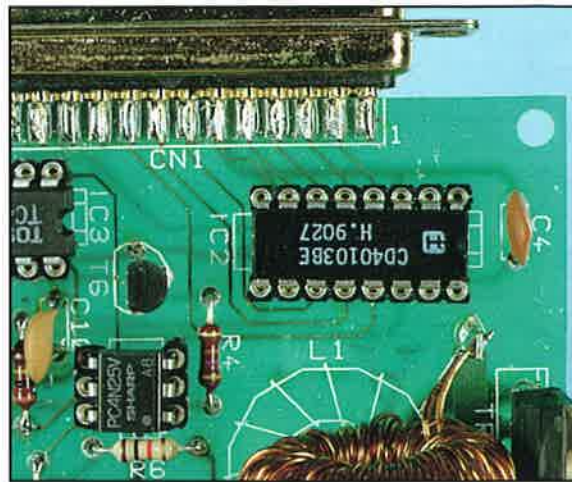
simili ai valori selezionati con le parole di controllo. Quando si scrivono i programmi di controllo per il regolatore bisogna tener presente che la potenza erogata al carico è funzione inversa del valore scritto sulla porta di uscita dell'elaboratore; un valore zero provoca la massima erogazione di potenza, e viceversa.

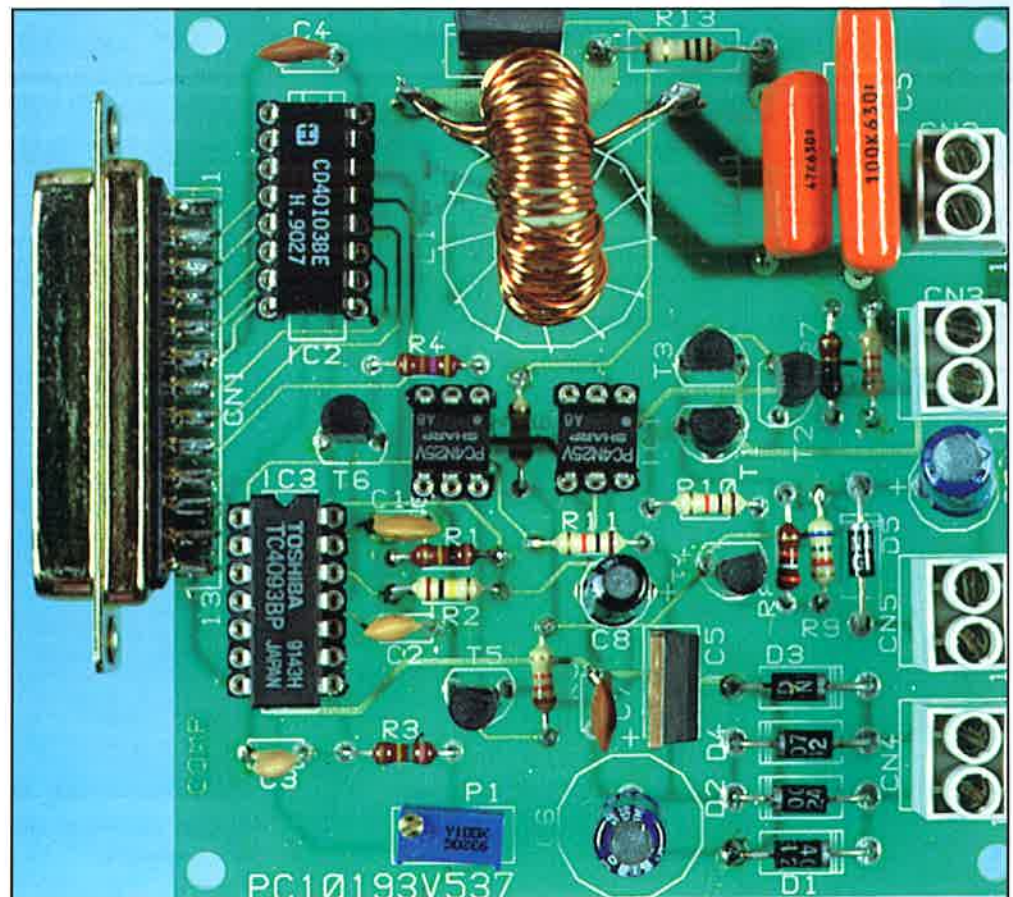
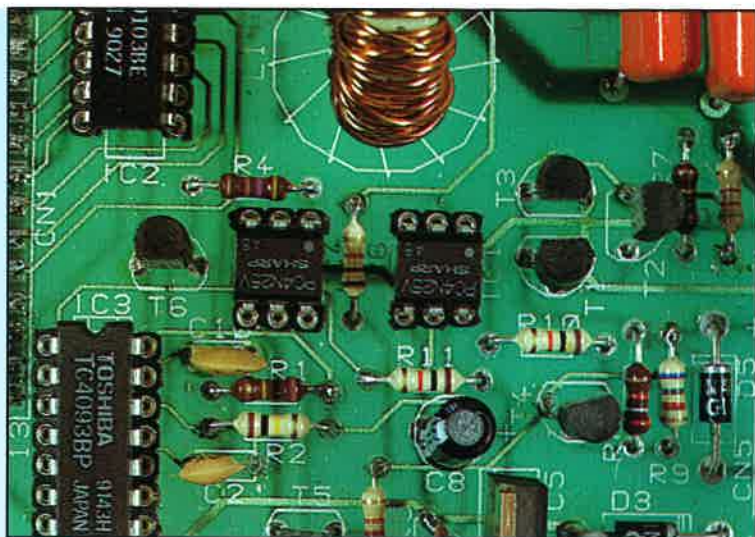
Non vi è molto da dire sulla porta parallela che non sia già stato detto nei capitoli precedenti, per cui la sua trattazione si limita ad alcune considerazioni, sicuramente molto utili per i lettori.

Non è consigliabile inviare dati alla porta Centronics con l'istruzione "PRINT" (LPRINT se si utilizza il linguaggio BASIC), poiché potrebbe capitare che oltre al codice della parola di controllo venga trasferito anche qualche altro carattere di controllo non previsto.

La soluzione migliore è quella di inviare i dati direttamente all'indirizzo della porta che si intende utilizzare. In altre occasioni sono già stati indicati gli indirizzi che occupano le diverse porte di cui potrebbe essere dotato il calcolatore; più precisamente, si ricorda che per le porte parallele gli indirizzi validi sono 378, 278 e 3BC (888, 632 e 956 in esadecimale), dei quali il primo è normalmente riferito a LPT1, il secondo a LPT2 e il terzo a LPT3. Questa regola però non è sempre rispettata in tutti gli elaboratori, per cui può accadere che le porte siano assegnate a questi indirizzi ma non in questo ordine. Si consiglia quindi di determinare l'indirizzo esatto della porta tramite un piccolo programma scritto in linguaggio BASIC:

```
10 DEF SEG = 64
20 PRINT PEEK(8)+256 *
(PEEK(9))
```

Eseguendo questo programma sullo schermo compare direttamente l'indirizzo decimale della porta LPT1, che da questo punto in avanti si considera indirizzata al valore decimale 888. Di conseguenza, se si collega il circuito a questa porta i codici di controllo devono essere inviati a questo indirizzo.

Se tutto è corretto è possibile fornire alimentazione al circuito. La prima prova è relativa al funzionamento del circuito. Per eseguirla è sufficiente scrivere in BASIC:

Aspetto del circuito completamente montato

I fotoaccoppiatori occupano la parte centrale del circuito stampato

Elenco componenti

Resistenze
R1, R2, R14 = 100 kΩ
R3, R7 = 150 kΩ
R4 = 470 Ω
R5 = 22 kΩ
R6, R10, R11 = 1 kΩ
R8 = 39 kΩ
R9 = 6,8 kΩ
R12 = 8,2 kΩ (vedere testo)
R13 = 100 Ω 1/2 W
P1 = 100 kΩ, potenziometro lineare

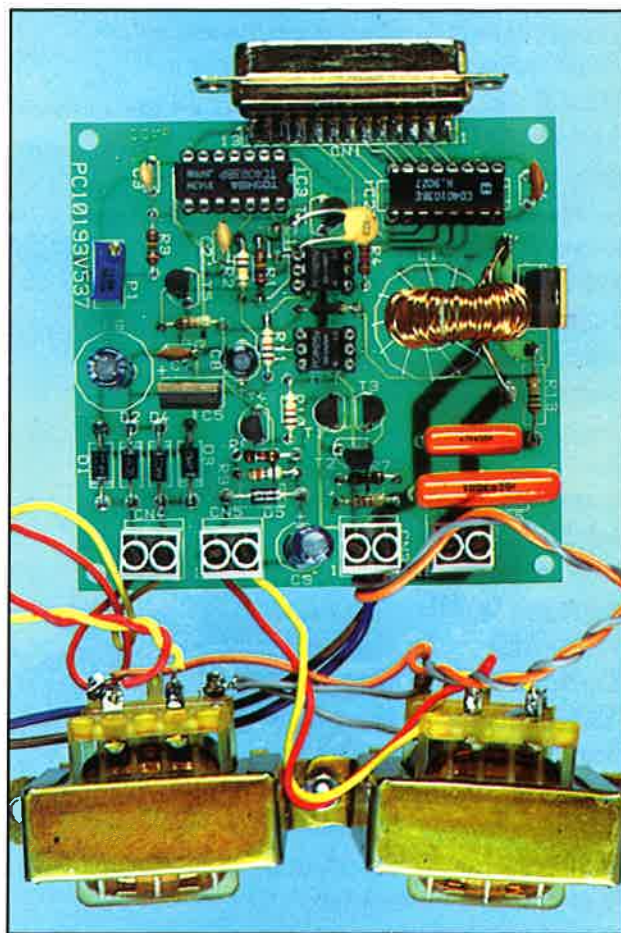
Condensatori
C2 = 4,7 nF
C3 = 270 pF
C7 = 100 nF
C5 = 100 nF/630 V
C6 = 1000 μF/16 V
C9 = 100 μF/16 V
C8 = 10 μF/16 V
C10 = 10 nF
C11 = 47 nF/630 V

Semiconduttori
D1-D5 = 1N4001
T1, T4 = BC557B
T2, T3, T5, T6 = BC547B
TR1 = TIC206D (oppure TIC216D)
IC1, IC4 = 4N25
IC2 = 40103
IC3 = 4093
IC5 = LM7805

Varie
L1 = bobina toroidale da 50 μH
2 trasformatori da 9V/100mA
4 morsettiere a due poli per c.s.
1 connettore DB25 maschio verticale a saldare
1 circuito stampato PC10193V537

OUT 888,0
se la lampada era spenta in questo modo dovrebbe accendersi.
Se invece era accesa, bisogna spegnerla scrivendo l'istruzione:
OUT 888,254
Se la lampada risponde a questi comandi il circuito funziona correttamente; in caso contrario è necessario spegnere e revisionare tutto l'assemblaggio, poiché sicuramente è stato commesso qualche errore di montaggio: rivedere le saldature, verificare che i componenti siano stati montati correttamente e nell'esatta posizione prevista, controllare che i collegamenti dei trasformatori siano stati eseguiti nel modo opportuno. Se il problema viene risolto, o non esiste, si può passare alla verifica generale di funzionamento inviando delle parole di controllo che forniscano potenze intermedie:

```
10 REM Indirizzo della porta: 888
20 D = 888
30 OUT D,1
40 FOR A = 0 TO 255
50 OUT D,A
60 NEXT A
70 FOR A = 255 TO 0 STEP -1
80 OUT D,A
90 NEXT A
```

La linea 30 provoca inizialmente l'accensione della lampada alla massima luminosità, e successivamente un suo lento spegnimento che avviene quasi completamente quando "A" raggiunge il valore 254, che corrisponde alla condizione di minor intensità luminosa. In seguito la lampada ricomincia ad illuminarsi fino a raggiungere la luminosità massima quando "A" assume il valore 1 (linea 70).
A questo punto dipende dalla fantasia e dall'estrosità del lettore l'elaborazione di un programma di controllo per regolare a proprio piacimento la luminosità della lampada. Utilizzando questo dispositivo in combinazione con altri circuiti presentati in questa opera (convertitore A/D, interfaccia I/O, ecc.), è possibile realizzare dei sistemi anche molto complessi che permettono di mettere alla prova le capacità e l'ingegno di ciascuno.

Tutto il circuito montato e cablato, pronto per essere inserito in un contenitore plastico